

14.5 融雪水が道路構造に与える影響及び対策に関する研究

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 23～平 27

担当チーム：寒地保全技術グループ（寒地道路保全）

研究担当者：熊谷政行、丸山記美雄、安倍隆二

【要旨】

積雪寒冷地においては、融雪期の融雪水や凍結融解作用が道路舗装の損傷に大きな影響を与えることはこれまでも認識されてきたことである。これに加えて、将来的には気候変動が激しくなるとの指摘もあり、舗装の老朽化もあいまって従来よりも融雪期の舗装の損傷が顕著になることが予想される。そこで、本研究では、融雪水や凍結融解作用が舗装体に及ぼす影響を検証し、融雪水などによる舗装の破損リスクが高い箇所を把握し、補修対策や予防対策を検討する目的で研究を行っている。平成 25 年度は、融雪水に強い舗装補修材料と工法の開発として、現道においてポットホール補修材料の耐久性評価調査を実施した。さらに、融雪水の影響を考慮した舗装構造と設計手法の提案に関して、道路舗装の耐久性向上にむけて留意すべき事項を検討整理した。中長期の影響と効果予測について、温度や締固め度とポットホール発生の関係を整理した。

キーワード：融雪水、凍結融解、ゼロクロッシング、ポットホール

1. はじめに

積雪寒冷地においては、低温や融雪期の融雪水や凍結融解作用などによって道路舗装に影響を受けるため、積雪寒冷地の舗装を構築するに際しては、積雪寒冷地特有の過酷な条件に耐えるような対策が取られている¹⁾²⁾³⁾⁴⁾。しかし、北海道内の舗装道路の多くが 1960～1970 年代の高度経済成長期に構築され⁵⁾道路統計年報⁶⁾等より集計)、その後約 30～40 年近くの時間が経過する中で、多くの舗装にダメージが蓄積され老朽化が進んでいると考えられ、今後は損傷が顕在化することが懸念される。また他方では、IPCC 第 4 次報告書⁷⁾など最近の気象データによれば、多くの地域で気温が上昇傾向にあり、気温、降雨量などの変動幅も拡大する傾向が指摘されている。こうした気象条件の変化により、積雪寒冷地では冬期間の気温が上昇し、厳冬期における凍結融解回数の増加、厳冬期の降雨の増加、路面上の雪氷の融雪水滞留時間の増加などの現象が起こっている。これまで、路盤や路床部に凍結融解作用が働き支持力が低下する現象が発生するのは春先の短い期間に限られていたが、厳冬期にも凍結融解作用が働き、さらに厳冬期の降雨や路面上の雪氷融水によって水分が路面や舗装体内に多く供給されることから、道路の構造的損傷と、ひび割れやポットホール等の路面損傷が増加する可能性は排除できない。英

国、米国ほか諸外国でも融雪水の増加が道路に与える影響とその適応策についての研究が進められている。

実際に、特に暖冬傾向が強かった 2006 年度の冬期には北海道各地で路面のひび割れ、沈下が多発し、GW 前に集中的な路面補修が必要となっている。また、近年では融雪期のポットホール損傷に関する道路利用者の通報や要望が増加している実態にある。道路機能を維持し、現在の道路資産を安全かつ安定的に守っていくために、環境条件の変化による融雪水の増加とそれによって発生する機能低下を検証し、融雪水による舗装の損傷への対処技術や、耐久性を向上するための技術開発が必要である。また、融雪水の速やかな排水技術や流末の確保が今後は重要になると予想される。

そこで、本研究では、融雪水や凍結融解作用が舗装体に及ぼす影響を検証し、融雪水などによる舗装の破損リスクが高い箇所を把握し、補修対策や予防対策を検討する目的で研究を行っている。平成 25 年度は、融雪水に強い舗装補修材料と工法の開発として、現道においてポットホール補修材料の耐久性評価調査を実施した。さらに、融雪水の影響を考慮した舗装構造と設計手法の提案に関して、道路舗装の耐久性向上にむけて留意すべき事項を検討したので、以下にその内容を述べる。

2. 融雪水に強い舗装補修材料と工法の開発

融雪期に発生した舗装損傷箇所のうち、ポットホール
の応急補修においては、気温が低く融雪水の影響を受け
るなど現場環境が厳しい中で早急な作業が余儀なくされ
るとともに、応急補修箇所にはその後の本格的な補修ま
での耐久性が要求される。

したがって、融雪期に発生したポットホールを応急的
に補修する際には、用いられる常温混合物の材料面での
配慮と施工方法面での配慮が求められる。しかし、これ
までに常温混合物の材料面での耐久性の評価や、施工方
法の違いが耐久性に及ぼす影響について調査検討が行わ
れたことはなく、融雪期に発生するポットホールの補修
に関して、どのような材料が望ましいのか、どのような
方法で施工すると良いのか、判断できない状況にあった。

そこで平成 25 年度は、ポットホール補修に使用され
る常温混合物や加熱混合物の性能や耐久性を評価するこ
と、および、補修施工方法の違いによる耐久性の差を評
価することを目的に、供用中の道路において現場試験を
行った。

2. 1 現場試験手法

(1) 常温混合物と加熱混合物の耐久性調査方法

供用中の道路において、様々な全天候型常温混合物と
加熱混合物でポットホールを補修して耐久性を調査した。
実際の道路維持作業で使用される任意の常温混合物また
は加熱混合物に対して、補修後から約 1 ヶ月までの残存
状況を目視により調査した。残存状況の判断は、手直し
が実施されたか否かもしくは、手直しが必要かどうかで
判断した。

なお、全天候型の常温混合物とは、気温が低かつ水
が存在する中でも柔軟性・作業性・接着性・耐久性を有

するとされる常温混合物である。しかし、全天候型の常
温混合物には一定の仕様や規定が存在しないため、性能
や耐久性が明確になっていない。

(2) ポットホール補修施工方法の調査方法

補修施工方法の違いによる耐久性の差を評価するこ
とを目的に、使用する全天候型常温混合物は同一とし、ポ
ットホール補修の施工方法を変えて、補修後から約 1 ヶ
月後までの残存状況を目視により調査した。

施工方法の種類は図-1 に示した、水分や土砂の除去の
みの場合、水分や土砂を除去した上で表面を乾燥させた
場合、水分や土砂を除去した上で脆弱部も除去した場合
の 3 種類である。現在、実際の現場で多く用いられる標
準的な方法は、水分や土砂の除去のみの方法である。

(3) 調査結果の整理方法

現道において発生するポットホールは、場所的にも時
間的にも散発的に発生するものなので、補修時および補
修後の気象条件、交通量や荷重などの条件を統一するこ
とは困難である。したがって、調査のデータから、材料
や施工方法の耐久性を単純に比較できるものではないこ
とを踏まえる必要がある。データの質として、同じ条件
下でのデータを比較解析できないことから、重回帰分析
などの統計的な解析はあえて行わず、相対比較のみ行う
こととした。

2. 2 現場試験結果

(1) 常温混合物と加熱混合物の耐久性調査結果

供用中の道路において、ポットホールを水分や土砂の
除去のみを除去後に全天候型常温混合物で充填する方
法で補修して耐久性を調査した結果を図-2 に示す。

全天候型常温混合物は、補修後一週間程度までは 90%
以上と大半が残存しており、約 1 ヶ月後においても 50

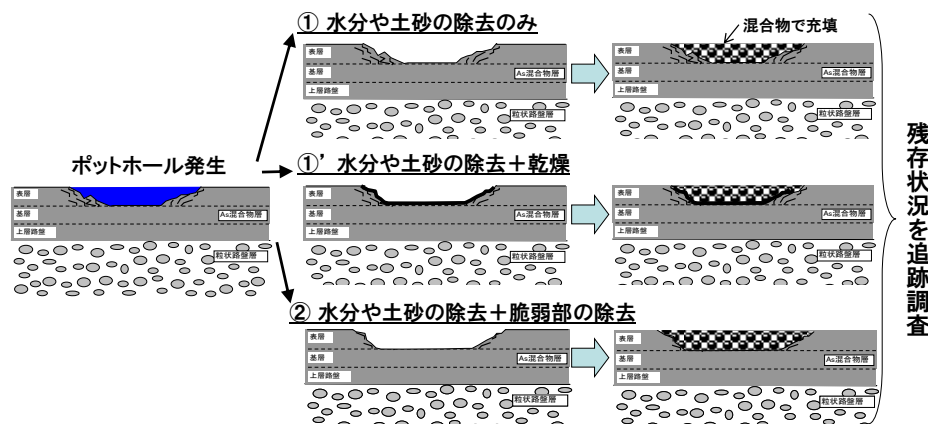


図-1 ポットホール補修施工方法の調査概要図

～70%程度が残存していることが確認できる。

全天候型でない標準的な常温混合物に関しては、今回データが取れなかったものの、維持業者への聞き取り結果では、標準型の常温混合物は数日の内に飛散しほとんど残存しないとされているのに比較して、全天候型混合物の残存率は高いと考えられる。常温混合物を用いる場合は全天候型を使用することが望ましい。

次に、ポットホールを水分や土砂の除去のみを除去後に加熱混合物で充填する方法で補修して耐久性を調査した結果を図-3に示す。加熱混合物でポットホール充填を行った場合の残存率は、1ヶ月後約80%程度となっており、全天候型常温混合物よりも高い様子が読み取れる。加熱混合物を使用できると、残存率を高められる可能性が高い。

そのため、プラントが近傍にあるなど、融雪期でも加熱混合物の入手・施工が可能な場合には使用を検討することは意味がある。なお、加熱混合物を用いる場合には、運搬時および施工時に温度が低下した部分が生じて品質の低下や廃棄ロスが生じることが考えられるため、その点を念頭に使用を検討する必要もある。

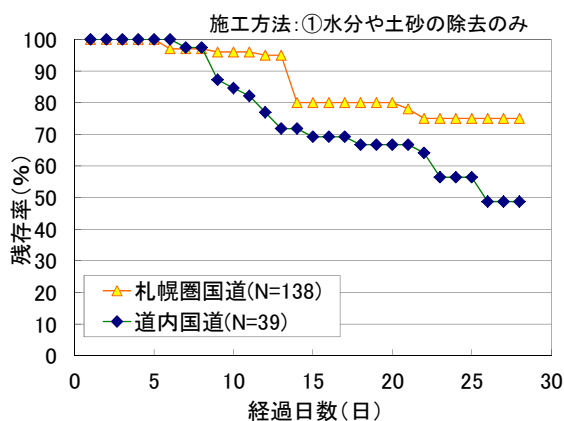


図-2 全天候型常温混合物の残存率

(2)補修施工方法の調査結果

使用する全天候型常温混合物は同一とし、様々な補修方法でポットホールを補修して耐久性を調査した結果を図-4に示す。

水分、泥の除去だけでは約一ヶ月後の残存率は約70%程度であるのに比べて、脆弱部除去を行った場合の残存率は、80%程度となっていることから、脆弱部の除去は10～20%程度残存率を改善する効果が認められる。一方で、表面を乾燥させた場合は、残存率は目立った向上がみられず、乾燥させる効果は大きいものではないといえる。今回の調査においては路面表面を乾燥させたのみで

あり、ひび割れ内部や表面よりも深い部分に水分が残っていた状態であったと考えられ、そのために乾燥の効果が低い結果になったと推測している。

図-5には、補修施工におけるさまざまな作業ごとの所要時間を整理した結果を示す。水分や土砂の除去後に混合物を充填、転圧するという標準的な作業に要する時間は、水分除去1.3分+充填1.3分+転圧1.7分=4.4分である。脆弱部の除去を行うとさらに追加で約4分を要する。乾燥作業を行う場合には、さらに追加で約2分を要する。脆弱部の除去には先述したように残存率を改善する効果があるが、作業に要する時間はほぼ倍に増えることとなる。

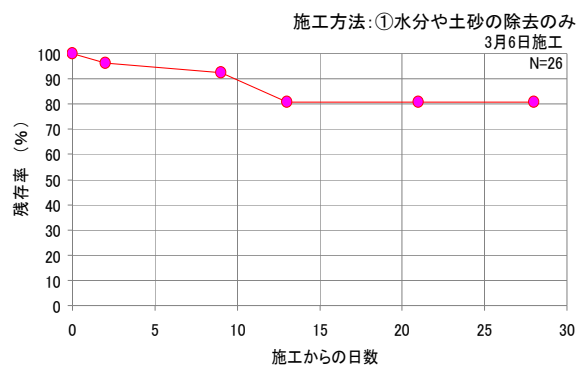


図-3 加熱混合物の残存率

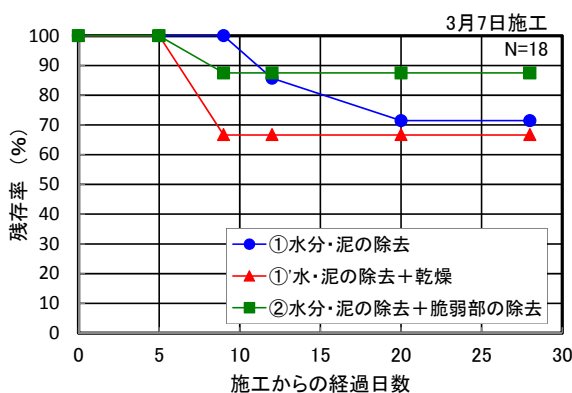


図-4 工法別の残存率

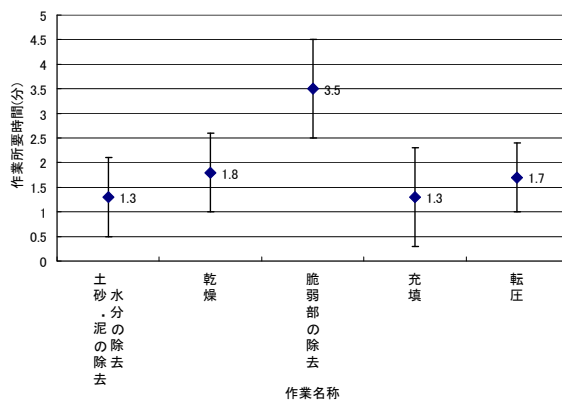


図-5 ポットホール補修に要する作業時間

3. 融雪水の影響を考慮した舗装構造と設計手法の提案

これまでに行った研究を基に、融雪水が舗装構造に及ぼす影響について整理し、道路舗装の耐久性向上を図るための具体策の検討や、現場技術者向けの技術資料作成を行った。

3.1 融雪水が舗装構造に及ぼす影響の検討

過年度までの調査結果から、融雪水の存在する条件下でのゼロクロッシングの発生が舗装体に大きな影響を及ぼしている状況がうかがえたため、これらの条件が舗装体にどのような具体的影響を及ぼすのかを検証した。

(1) 凍結融解作用による混合物の強度低下の検証

凍結融解による混合物の強度低下に関しては、これまでも実験を行っており²⁾³⁾、その概要を以下に示す。

同じ材料（ストアス 80-100、骨材、フィラー）を使用し、配合比率を変化させた細粒度ギャップアスファルト混合物 F 付き系(SG13F)2 種、密粒度アスファルト混合物 F 付き系(M13F)2 種、密粒度アスファルト混合物 F なし系(M13)2 種、密粒度ギャップアスファルト混合物 F 付き系(MG13F)1 種の計 7 種類の混合物を対象として、凍結行程が+4.5℃→-18℃で 2 時間、融解行程が-18℃→+4.5℃で 1 時間の計 3 時間を 1 サイクルとして凍結融解を所定の回数繰り返し、その後に空隙率の測定を行った。

凍結融解作用に伴う空隙率の変化を図-6 に示す。細粒度ギャップアスファルト混合物 F 付き系(SG13F)2 種と密粒度アスファルト混合物 F 付き系(M13F)2 種は空隙率 3%~4%の範囲内で推移しており、凍結融解作用による影響をあまり受けていない。一方、密粒度アスファルト混合物 F なし系(M13)2 種と密粒度ギャップアスファルト混合物 F 付き系(MG13F)は 4%以下の空隙率が 5%以上程度に増加しており、凍結融解作用の影響を受けていることがわかる。

この試験において、凍結融解作用によって混合物内部に発生した変化を模式図で表現したものを図-7 に示す。水分が存在する条件下でアスファルト混合物が凍結融解を受けると、空隙に浸入した水が凍る際に体積膨張すると考えられ、凍結と融解を繰り返すうちに空隙が拡大し、それに伴って安定度や摩耗抵抗性や骨材飛散抵抗性などが低下するものと推測される。

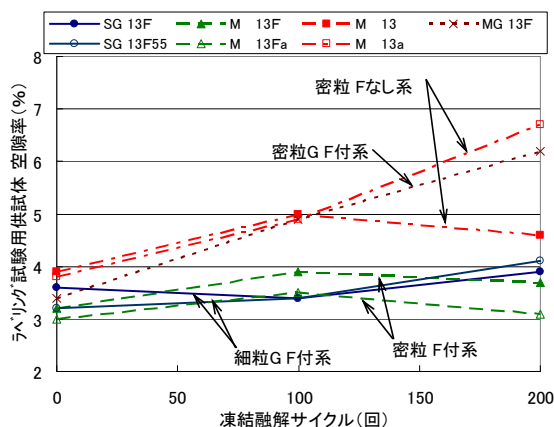


図-6 凍結融解試験後の空隙率の変化

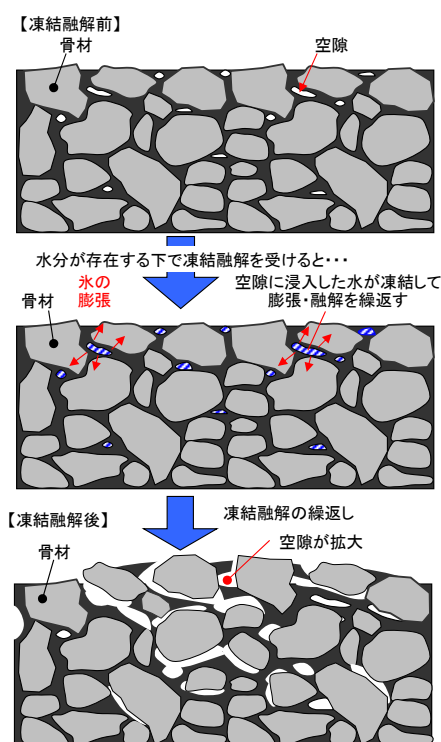


図-7 凍結融解を受けた混合物の変化模式図

(2) ひび割れ部からの水の浸入に関する検証

ひび割れ部からどの程度の量の路面の融雪水が浸入するのかを把握するため、幅の異なるひび割れを室内で曲げ破断によって作成し、ひび割れ部を跨いで現場透水量試験機を設置して、透水量を測定した。試験を行ったひび割れは、曲げ破断させたひび割れ面を向かい合わせて万力で締め付けて 0.5~1mm、3mm 程度、5mm 程度の幅のひび割れとした。

曲げ破断により発生させたひび割れに対する透水量試験結果を図-8 に示す。ひび割れ幅が 3mm 以上の場合、測定の上限である 1400 ml/15 秒以上の透水性を示し、

ほとんど抵抗なく水が浸透していく状態となっている。ひび割れ幅が0.5～1mm程度の時には、透水量は約800 ml/15秒もしくは約600 ml/15秒となり、ひび割れ幅が3mm以上の場合に比べると若干浸透しにくくなる。しかし、いずれのひび割れ幅においても、単位時間当たりの透水量に程度の差はあるものの、供給された水は速やかに浸透していくレベルと評価できる。

融雪期には、路肩部等に堆積された雪が解け、その融雪水が路面から流入し、さらにひび割れや打ち継ぎ目部分から容易に浸入している状況にあると推察される。

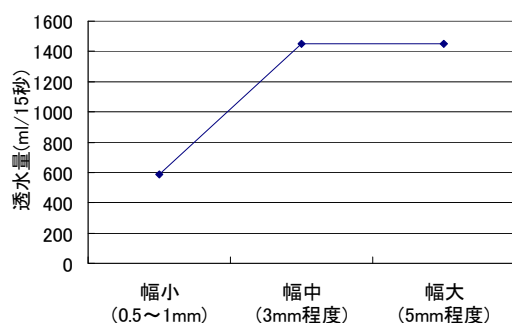


図-8 曲げ破断ひび割れに対する透水量試験結果

(3) 融解期における路盤材料および路床材料の支持力低下の検証

既往の調査によって得られている、路盤材料の凍結融解後の修正 CBR 試験の結果⁴⁾を図-9に示す。凍結融解前の修正 CBR 値と凍結融解後の修正 CBR 値の比 (CBR 保存率) は複数の路盤材料でいずれも 70%程度であり、路盤材料は凍結融解を受けると支持力が低下することが確認できる。このような凍結融解作用に伴う支持力低下に加えて、ひび割れ等から融雪水が路盤や路床に浸入すると、路盤材や路床材の含水比を高めることになるため、更に支持力は低下すると考えられる。

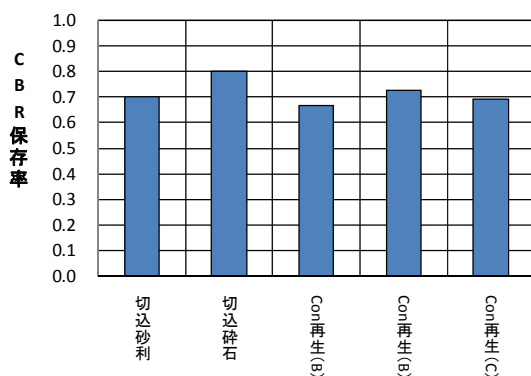


図-9 路盤材料の凍結融解後のCBR保存率

3.2 道路舗装の耐久性を向上させる具体策

北海道における融雪水による舗装の損傷を減らして道路舗装の耐久性を向上させるためには、アスファルト舗装の新設及び補修にあたって、舗装損傷の主な要因である「水・温度変化・荷重」に留意しつつ、可能な限り適切な施工時期を選び、低温下での施工は極力避けることが重要と考えられる。さらに、適切な施工管理、品質管理によって長期的な舗装の機能を確保し、ライフサイクルコストを低減することが大切である。

そこで、上述した観点を技術者が広く共有し、舗装の耐久性向上が図られるようハンドブックの作成を行うこととした。

3.3 技術ハンドブックの作成

北海道開発局などとの連携により、開発局をはじめ北海道や市町村の現場技術者向けに、「北海道における道路舗装の耐久性向上と補修に関する技術ハンドブック」(図-10)を共同執筆した。本ハンドブックは、舗装の新設及び補修に関する技術のうち、北海道における道路舗装の耐久性向上に向け、工事担当技術者(発注者及び受注者)が留意すべき事項について、わかりやすくとりまとめたものである。

ハンドブックの章構成としては、以下のとおりである。「はじめに」、「北海道における舗装の損傷事例と要因」、「北海道の耐久性を向上させる具体策」、「アスファルト混合物によるポットホールへの応急補修に関する留意点」、「あとがき」で構成している。

「はじめに」では、本ハンドブックの位置づけ・目的や舗装の耐久性向上及び補修にあたっての留意点等を記している。

続いて、「北海道における舗装の損傷事例と要因」において、北海道特有の損傷事例やポットホールの発生メカニズムについて記している。

「北海道の耐久性を向上させる具体策」では敷均しや転圧など新設アスファルト舗装に関する留意点及びオーバーレイ等の補修工法やシール材工法等の予防保全などといった舗装補修に関する留意点など、道路舗装の耐久性向上のため、現場技術者が道路舗装の施工の際に留意することが記されている。

「アスファルト混合物による応急補修に関する留意点」では、応急補修に関する留意点や路面が湿潤・乾燥それぞれの状況の場合における応急補修方法等が記されている。

ハンドブックは当研究所ホームページで公開し普及を図った(ハンドブックのダウンロード先 URL :

www2.ceri.go.jp/jpn/iji/taikyusei_handbook/form.htm
1)。ダウンロード数は公開後約3か月が経過した現時点
で1300件を超えており、現場技術者の間で有効に活用
されていると考えられる。

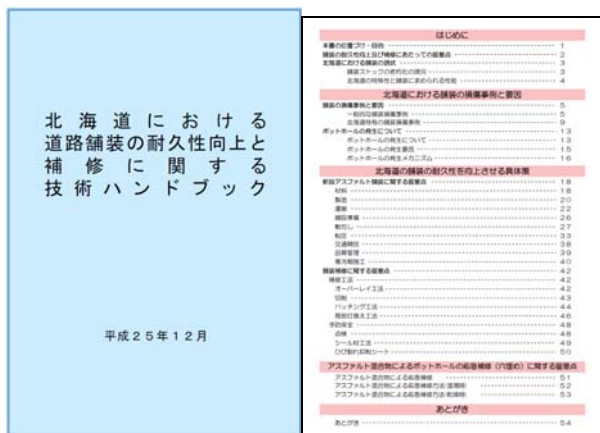


図-10 北海道における道路舗装の耐久性向上と補修に関する
技術ハンドブックの表紙と目次

4. 融雪水を考慮した舗装の対策手法の中長期的影響・ 効果の予測

融雪水の影響を受けにくくするための一つの対策手法
としては、舗設時の温度管理や施工管理をあげることが
できる。舗設時の温度管理や施工管理が舗装の品質や中
長期的な耐久性に与える影響を把握するための調査を行
った。

また、舗装の耐久性を高めるための予防保全工法など
の維持修繕工法を試験施工し、中長期的影響や効果につ
いての追跡調査を開始した。

4.1 調査方法

国道337号長沼町銀座、228号知内町重内、釧路町中
央の3箇所の工事現場で、アスファルト混合物の運搬時
および施工時の温度低下や温度ムラを測定した。舗装端
部や打ち継ぎ目などの箇所の締固め度を測定した。

また、国道229号共和町宮丘の工事現場において、敷
き均し温度および転圧温度が異なる区間を隣接して設け、
各工区から切り取りコアを採取して締固め度を測定し、
各工区の耐久性を追跡調査した。

4.2 調査結果

(1) 打継ぎ目部や端部の混合物密度計測結果

打継ぎ目や端部と一般部の締固め度の比較結果を図
-11に示す。打継ぎ目や端部においても密度は仕様書規
格値(94%以上)を満足しており、問題はないと言える。
端部やジョイント部とはいえ、最適温度範囲で良好に施
工されれば所定の締固め度が得られるものといえる。た

だし、一般部との相対比較においては、打継ぎ目や端部
の締め固め度は低くなっている。一般論として端部やジ
ョイント部は中央部の区間と比べて敷き均しや転圧がし
にくい部位であり、混合物温度も低下しやすい部位であ
るため、締め固め度は相対的に低くなり、相対的な弱点
となる可能性が高い。国外の文献においても、ジョイン
ト部や端部の周辺の密度が低く、パフォーマンスに劣る
ことが示されている⁷⁾⁸⁾。

そのため、必要がある場合には、以下のような工夫が
考えられる。

- ・ 転圧回数や転圧方法を工夫する
- ・ ジョイント部や端部の混合物の温度低下が起きない
ように工夫する

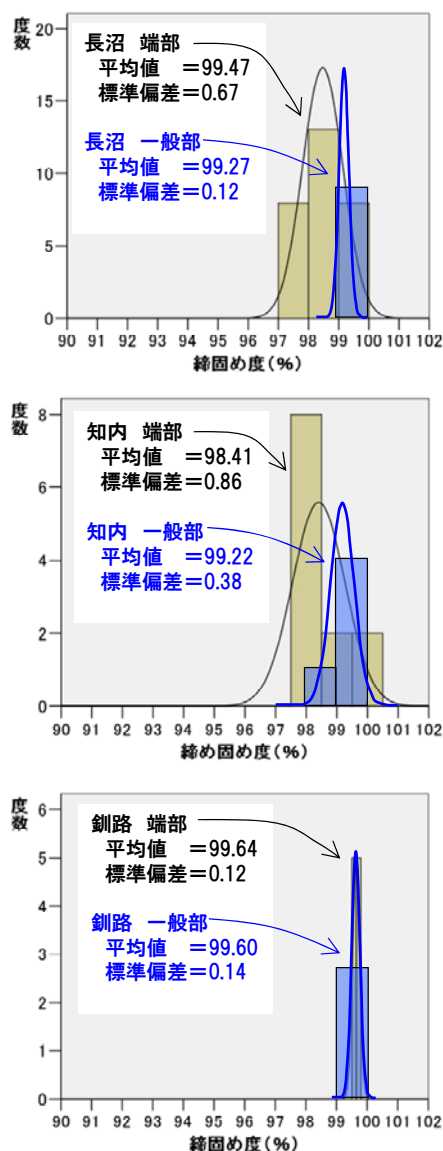


図-11 端部と一般部の締固め度の違い

(2) 敷均し温度と締め固め度の関係

敷均し温度と締め固め度の関係に関する調査結果を図-12に示す。敷均し温度が低下するほど、締め固め度が低いことがわかる。

さらに、図-13には、締め固め度とカンタプロ損失率の関係に関する調査結果を示した。締め固め度が低いと、カンタプロ損失率が高くなる傾向を示す傾向にあることが読み取れる。カンタプロ損失率が高いと、飛散などポットホール発生に繋がる損傷を受けやすくなると推測される。実際に、現地の施工後6ヶ月までの追跡調査によって、締め固め度が低い区間ほど骨材飛散が生じている状況が確認できている。

(3) 舗設時の温度管理や施工管理が舗装の品質や中長期的な耐久性に与える影響の検討

前述したように、敷き均し時や転圧時の混合物温度が最適温度よりも低いと、締め固め度が低く飛散などポットホール発生に繋がる損傷を受けやすい混合物になるため、最適温度範囲で施工することが、舗装の中長期的な耐久性を高めるために有効と指摘できる。このことは従来から言われてきた基本的なことであるが、コスト縮減や施設の老朽化に対する対策の中長期的な視点から、改めてその重要性を認識することが大切である。

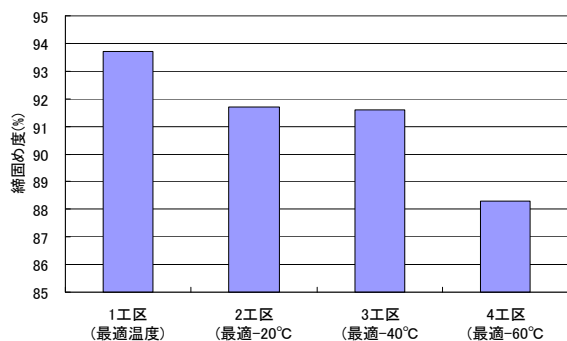


図-12 敷均し温度と締め固め度の関係

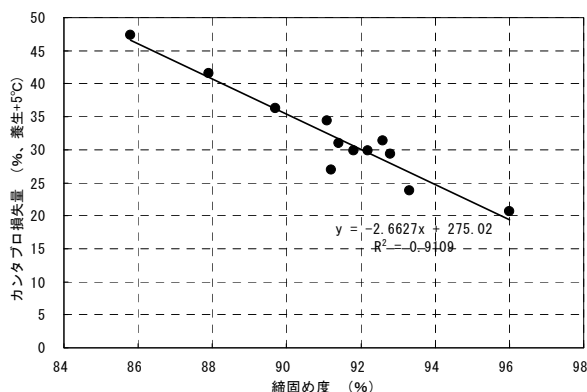


図-13 締め固め度とカンタプロ損失率の違い

5. まとめ

本研究で得られた知見を以下に示す。

融雪水に強い舗装補修材料と工法の開発に関して、

- (1) 供用中の道路において、常温混合物や加熱混合物でポットホールを補修して耐久性を調査した。また、様々な補修方法でポットホールを補修して耐久性を調査した。その結果、常温混合物を用いる場合は全天候型を使用することが望ましく、プラントが近傍にあるなど、融雪期でも加熱混合物の入手・施工が可能な場合には使用を検討することが勧められる。

融雪水の影響を考慮した舗装構造と設計手法の提案に関して、

- (2) 北海道における道路舗装の耐久性向上に向け、道路管理者と共同で「北海道における道路舗装の耐久性向上と補修に関する技術ハンドブック」を作成した。ハンドブックはHPで公開して普及に努め、公開以来3か月の間にダウンロード数1300件以上と現場技術者の間で有効に活用されていると考えられる。

融雪水を考慮した舗装の対策手法の中長期的影響・効果の予測に関して、

- (3) 締め固め度が低いと飛散などポットホール発生に繋がる損傷を受けやすくなると推測されることから、高い締め固め度が得られるよう適切な温度でムラのない均一な施工を行うことが、舗装の中長期的な耐久性を高めるために有効であることを示した。

参考文献

- 1) 土木学会舗装工学委員会寒冷地舗装小委員会：積雪寒冷地の舗装、舗装工学ライブラリ 6、2011。
- 2) 久保宏、岩崎信行：アスファルト混合物の凍結融解試験について、土木試験所月報No.287、1977
- 3) 丸山記美雄、高橋守人、早坂保則：表層用アスファルト混合物の凍結融解作用に対する抵抗性、平成12年度土木学会年次学術講演会、2000。
- 4) 安倍隆二、丸山記美雄、熊谷政行：積雪寒冷地におけるアスファルト舗装の理論的設計方法に用いる材料特性および環境条件に関する検討、寒地土木研究所月報No.708、2012。
- 5) 国土交通省：道路統計年報
- 6) 気象庁訳：IPCC 第4次評価報告書第一作業部会報告書技術要約、2007

RESEARCH ON EFFECT OF SNOWMELT WATER ON ROAD STRUCTURES AND ITS COUNTERMEASURE

Budgeted : Grants for operating expenses

General account

Research Period : FY2011-2015

Research Team : Road Maintenance Research Team

Author : Masayuki Kumagai

Kimio Maruyama

Ryuuji Abe

Abstract : This research verifies the effect of snowmelt water and freezing and thawing on paved roads. Assesses high risk parts of pavements damaged by snowmelt water and discusses repair and prevention methods were conducted. In fiscal 2013, we assessed the durability of pothole patching materials on roads in service, with the goal of developing a pavement repairing material that is highly durable against meltwater. We also summarized with illustrations the affects of meltwater on pavements, and we developed a handbook that provides points to note for improving road pavement durability.

Key words : snowmelt water, freezing, thawing, zero-crossing, potholes